

.ОПИСАНИЕ СХЕМ И УЗЛОВ УСИЛИТЕЛЯ ПОЛНОГО Dual CV1460.

Повторители усилителя CV1460, рис 1, собраны на полевых транзисторах 2SK186 (повторитель для перезаписи на магнитофон – на 2SK108). По паспорту, отношение сигнал/шум по DIN 45405 со входов «Тюнер» и «Магнитофон» до 88 дБ, а по IHF, взвешенное с применением фильтра А – 100 дБ. По измерениям, при $f=20$ кГц, $U_{вых}=500$ мВампл к.н.и.+ шум=0,011%, при 1,8 Вампл – 0,02%, а при 5 Вампл – 0,04%. Современные источники сигнала развивают до 3 Вампл. При замене R3 источником тока TR2 КП103K1, Л1 с $I_{ст.нач}=3...5$ мА при 20 кГц и 5 Вампл к.н.и.=0,012%.

Сигнал звукоснимателя со входа "PHONO", рис. 2, проходит ФНЧ R7C1 и через R5 вынесенной на вход цепи высокочастотной противоперегрузочной коррекции R5C27 поступает на затвор TR1.1 сборки 2SK270A, включенной дифференциальным усилителем. R29 задаёт ток истоков TR1. IC1 NJM4558DX во втором каскаде обеспечивает усилителю-корректору высокую линейность. R35C29 – цепь ВЧ коррекции, D7, D9 защищают входы ОУ от повреждения при проигрывании покоробленных дисков или механическом воздействии на звукосниматель. В цепи ООС с помощью R11 – R17 и C9 – C11, R47, R9 формируется АЧХ УК. По паспорту, её отклонение от RIAA в диапазоне 20 Гц...20 кГц – не более ± 1 дБ. R19 определяет K_u корректора. Переключателем SA1 выбирается режим работы усилителя: от звукоснимателей с подвижной катушкой – «МС», или подвижным магнитом – «ММ». Паспортное отношение сигнал/шум всего усилителя полного по DIN 45405 – до 68 дБ (Phono MM, 2,5 мВ/47 кОм), 61 дБ (Phono MC, 0,8 мВ/100 Ом), а измеренное по IHF, взвешенное с применением фильтра А – соответственно 80 и 74 дБ.

Предусилители питаются напряжением ± 19 В от простых однотранзисторных стабилизаторов.

.....ОПИСАНИЕ СХЕМЫ УМЗЧ CV 1460.

Сигнал от входных повторителей через переключатель выбора источника поступает на тонкомпенсированный регулятор громкости VR2, рис.3, с движка которого через C18 на фильтры ВЧ – R22C20 и НЧ – R24C22. Транзистор TR4 работает в схеме подавления щелчков при включении и приглушения при большом выходном напряжении. Через R26 сигнал поступает на базу TR6.1 первого дифференциального каскада. Он выполнен на согласованной паре малошумящих транзисторов TR6, $h_{21э}=1000$, и работает в микротоковом режиме при $I_{э}=100$ мкА; $U_{пит}=\pm 7$ В. Цепь R26Cнав – противоперегрузочная коррекция, препятствующая резкому изменению режимов TR6.1TR6.2 при ВЧ-перегрузках. С R32, R34 сигнал подан на вход второго дифкаскада – TR10, TR12. Цепь R46C24 – корректирующая. Последний каскад УН собран по схеме дифкаскада TR14TR16R56 – токовое зеркало TR18R66, D6R64. C38 и C48 обеспечивают коррекцию на отставание по фазе, C46 – на опережение. Установленные на плате без контакта с радиатором TR24 и D8 и VR6, R70, R68 обеспечивают напряжение смещения ($U_{см}$) двухкаскадного выходного повторителя TR20, TR22, TR34, TR26. УМЗЧ охвачен ООС по постоянному току через R38. Регулировка тембра производится изменением глубины ООС по переменному току – VR3 «НЧ» и R110, R112, R114, R104, C80, C82; VR4 «ВЧ» и R102, R108, C72, C74, C76, C78. Малые I_b TR6.1TR6.2 позволили увеличить сопротивление R22, R38 и тем расширить диапазон регулировки тембров до 12 дБ на 100 Гц и 16 кГц. Темброблок находится на общей плате у передней панели усилителя и связан с УМЗЧ экранированными проводами. Цепь R92C58 расположена на плате УМЗЧ, а RC и RфЛФ – на плате переключателя АС. Предохранитель FU1 взаимно защищает УМЗЧ и АС. Ещё два предохранителя включены между трансформатором питания 24~36 В и выпрямительным мостом.

По паспорту, музыкальная мощность УМЗЧ – по 120 Вт, долговременная – по 95 Вт, при к.н.и. до 0,1 % – по 80 Вт на канал при R_n не менее 8 Ом. Полоса частот при регуляторах тембра в среднем положении – 8 Гц...60 кГц по уровню ± 3 дБ, полоса частот большой мощности по DIN 45 500 – 10...60 000 Гц.

Усилитель работал верой и правдой с 1977 года. В последнее время выходные транзисторы второго канала многократно без видимых причин выходили из строя. Виновен регулятор тока покоя выходных транзисторов VR6, установленный между коллектором и базой TR24. Неустойчивый контакт между выводом и нанесённым на керамическую основу токопроводящим слоем и приводил к неконтролируемому увеличению напряжения смещения и тока покоя выходного каскада.

УМЗЧ присущи некоторые недостатки.

Ключ TR4 вносит нелинейные искажения.

Подъём АЧХ на ВЧ достигается за счёт уменьшения глубины ООС УМЗЧ и для повышения линейности необходимо увеличивать петлевое усиление. K_u каскада TR14TR16, TR18 зависит от сопротивления нагрузки – входного сопротивления последующих каскадов: $K_u \approx R_n / (2g_{э}TR16 + R_n/R66)$, где $g_{э}=U_t/I_k$, где U_t – тепловой потенциал, 25...26 мВ. Сопротивление это носит комплексный характер. $R_x \approx h_{21э}TR20h_{21э}TR34R_{AC}$. Если $h_{21э}=50...100$ и $R_{AC}=8$ Ом, то $R_x=20...80$ кОм. $S_x=1000/2fC_n$; S_x – в кОм, f – в кГц, C_n – в нФ. C_n складывается из C38, $S_{кб}TR16$ и $TR18$ – по 0,01 нФ, $S_{кб}TR20$ – 0,07 нФ, $S_{кб}TR22$ – 0,14 нФ, C48 – 0,16 нФ и $S_{монтажа}$; всего – до 0,4 нФ. При $f=20$ кГц реактивное сопротивление нагрузки $S_x=20$ кОм. Поэтому для TR14TR16, TR18 $R_n=R_x||S_x=10...16$

$K_{\text{ом}}$ и его $K_{\text{и}} 20 \text{ кГц} \approx 1000 \dots 1700$ раз, тогда как при оптимальном $R_{\text{н}}$ $K_{\text{и}}$ должен быть на порядок большим. Повышение $K_{\text{и}}$ означает уменьшение необходимого для «раскачки» дифференциального напряжения: $U_{\text{дифф}} = U_{\text{вых}} / K_{\text{и}}$, и снижение вносимых искажений – Ктретей гарм. $= 2,08 (U_{\text{дифф}} / U_{\text{т}})^2$ квадрат, %, где $U_{\text{дифф}}$ – дифференциальное входное напряжение TR14TR16, [1]. Можно вычислить, что у этого дифкаскада при $f=20 \text{ кГц}$, $U_{\text{вых}}=40 \text{ В}$ $K_{\text{г3}}=1,8 \dots 5\%$ – даже без учёта изменения $h_{21\text{э}}$ от тока у TR34TR26 и необходимости для УМЗЧ отдавать в нагрузку дополнительный ток для остановки или разгона электромеханической системы громкоговорителей, что воспринимается им как уменьшение R_{AC} .

От эмиттерного тока пары TR14TR16 и ёмкости нагрузки $C_{\text{х}}$ зависит максимально возможная для конкретного УМЗЧ скорость нарастания выходного напряжения: $V_{\text{нар}} = I_{\text{зар}} / C_{\text{н}}$, где $V_{\text{нар}}$ – В/мкс, $I_{\text{зар}} = I_{\text{э}} \text{ TR14TR16} = 9 \text{ мА}$, $C_{\text{н}} = 0,4 \text{ нФ}$. Поэтому $V_{\text{нар}} \approx 20 \text{ В/мкс}$. Необходимость скорейшей компенсации искажений типа «ступенька», возникающих при малом токе покоя выходных транзисторов, приводит к перегрузке УН, а уменьшение соотношения $I_{\text{зар}} / C_{\text{н}}$ увеличивает её длительность: время задержки распространения прямоугольного импульса при $U_{\text{вых}}=1 \text{ В}$ $t_{\text{зад}} \approx 0,05 \text{ мкс}$. На это время цепь ООС разомкнута, $U_{\text{дифф}}$ TR14TR16 может достичь 3 В, а $K_{\text{и}}$ УН – упасть до 0. Низкочастотные одновременно усиливаемые сигналы будут изрезаны «просечками» и покрыты «иголками» с удвоенной частотой высокочастотных, что воспринимается слушателем как «грязь» и «шум». Динамические искажения устранены применением $S_{\text{нав}}$ 560 пик. Дополнительно их можно уменьшить установкой в эмиттерных цепях TR14TR16 резисторов – тогда падение напряжение на них суммировалось бы с $U_{\text{т}}$ в формуле для $K_{\text{г}}$, да и для вывода дифкаскада из режима потребовалось бы большее $U_{\text{дифф}}$, но их места заняты перемычками J65, J66 (в первом канале – J28, J29). Установка перемычек не оправдана оптимизацией топологии платы. Как видим, к искажениям приводит не применение транзисторов, а их перегрузка большим сигналом. Цепь $R_{26} S_{\text{нав}}$ смягчает обусловленную задержкой ООС перегрузку усилителя напряжения, уменьшая $U_{\text{дифф}}$ TR6.1TR6.2 выше частоты $f = 1/2 \sqrt{R_{26} S_{\text{нав}}}$ (примерно 3,4 МГц).

Вместо резисторов фильтров в цепях питания усилителя напряжения впаяны перемычки J26, J27. Их установка также не оправдана: для устранения паразитной генерации вследствие связи усилителей напряжения и тока по цепям питания приходится завышать ёмкость конденсаторов коррекции C46, C48.

При прослушивании музыки рассеиваемая транзисторами выходного каскада мощность гораздо меньше, чем при испытании синусоидальным сигналом и активной нагрузке. Это, а также высокое качество полупроводниковых приборов – у всех транзисторов измеренное $U_{\text{кз}}$ больше 200 В – позволило разработчикам CV 1460 уменьшить радиатор, выбрать ток покоя TR34, TR26 10 мА и не устанавливать на радиатор TR20, TR22. Чтобы избавиться от искажений типа «ступенька», применён узел R72C50, R74C52, R76D12D10 и R72D14D16. Если бы он работал согласно замыслу, то, к примеру, при отрицательном выходном напряжении и уменьшении тока верхнего плеча на базу TR20 со стабилатора D12 через D10 было бы подано отпирающее напряжение и поддерживался ненулевой ток покоя TR34. Но $U_{\text{стаб. D12}} = 1,2 \text{ В}$, из него вычитается необходимое для открывания D10 напряжение 0,6 В, часть тока R76 отбирает TR18 через R72, а для сохранения TR34 в худо-бедно активном режиме надо поддерживать между базой TR20 и эмиттером TR34 $U_{\text{см}} \geq 1,1 \text{ В}$. Этот узел неработоспособен и, согласно измерениям, генерирует искажения, возникающие при изменениях $R_{\text{х}}$, $K_{\text{и}}$ и, соответственно, $U_{\text{дифф}}$ TR14TR16 от перезарядки ёмкостей переходов D10, D16 и коммутации R72, R76 и D12, D14.

Высокое сопротивление R22, R38 и $I_{\text{см}}$ TR6 совместно с утечкой C28 приводят к повышению уровня постоянной составляющей на выходе усилителя до 70 мВ. Это приводит к ответвлению в нагрузку 9 мА от TR34 при $R_{\text{н}}=8 \text{ Ом}$ и общем $I_{\text{пок}}=10 \text{ мА}$, запираению TR26 до 1 мА и росту нелинейных искажений, обусловленных асимметрией плеч.

Перечисленные причины обусловили довольно высокий к.н.и. – до 0,25% при $f=20 \text{ кГц}$, $R_{\text{вых}}=10 \text{ Вт}$, $R_{\text{н}}=3,6 \text{ Ома}$ и его повышение с ростом выходной мощности. Условия измерения достаточно жёсткие. По паспорту, при $f=1 \text{ кГц}$, $R_{\text{вых}}=70 \text{ Вт}$ и $R_{\text{н}}=8 \text{ Ом}$ к.н.и.=0,02%, к.и.и.=0,05%; наличие при этом нагрузки не указывается. Во время разработки усилителя, примерно в 1975 г., стандарт DIN 45 000 ограничивал к.н.и. Hi-Fi-усилителей величиной 1% в полосе 40...12 500 Гц, а к.и.и. – 3% в полосе 250...8 000 Гц.

Несмотря на перечисленные недостатки, усилитель Dual CV 1460 высоко ценится аудиофилами за мягкость звучания. По некоторым сведениям, на базе схемы рис.3 собран один из современных усилителей марки «Одиссей».

.....ИЗМЕНЕНИЯ В СХЕМЕ УМЗЧ Dual CV 1460.

Схема УМЗЧ изменена, рис. 4; вновь введённые элементы имеют собственную систему нумерации. Исключены C20, TR4, R58, C26, C48, C46. Уменьшение ёмкости C22 позволило удвоить $f_{\text{ср}}$ ФНЧ VR2C22, ранее составлявшую 12,6 кГц при среднем положении движка VR2, а увеличение ёмкости C28 – сдвинуть частоту перегиба АЧХ при максимальном подъёме НЧ со 100 до 25 Гц. С уменьшением сопротивления R22, R38 постоянный потенциал на выходе снижен до 15 мВ, а

диапазон регулировки тембра, ввиду хорошей равномерности АЧХ современных источников, ограничен 6 дБ.

Переключки J28, J29 и J65, J66 заменены резисторами 33 Ом; сопротивления R46, R48 левого канала и R46, R48 правого увеличены для сохранения прежних I_k дифкаскадов.

Увеличение ёмкости C35, C43 и C36, C44 и установка R4, R5 на место J26 (+Упит), J27 (-Упит) улучшает развязку усилителей напряжения и тока, способствует повышению линейности УМЗЧ и уменьшению ёмкости конденсаторов коррекции C1, C2.

Изменён тип транзистора TR22 на KT814A с возможностью крепления на фланец мощного транзистора, величины сопротивлений VR6, R68 подобраны для получения напряжения смещения до 3,8...4,0 В.

Рассеиваемая мощность распределена на четыре выходных транзистора, снизилась интенсивность теплоотдачи – Ватт/транзистор, облегчился их температурный режим. При предельной выходной мощности можно удерживать руку на радиаторе сколь угодно долго (рабоче-крестьянский метод, основанный на том, что при $t=50^\circ\text{C}$ белок конечности начинает сворачиваться и это должно вызывать болевые ощущения). Вследствие повышения надёжности ввиду большего числа выходных транзисторов, а также бесполезности, в случае выхода из строя последних, токовая защита не использовалась.

Элементы повторителя смонтированы на плате, прикреплённой к радиатору. VT3...VT8 установлены выводами вверх.

Для защиты АС введено устройство, рис. 5, выполненное по схеме, заимствованной от тюнера-усилителя "Корвет-004-стерео". После подачи питания C5 заряжается через R6, обеспечивая задержку подключения АС 5 с. Постоянная составляющая выходного напряжения усилителя выделяется с помощью R1C1C2, R2C3C4, поступает через диоды VD1 или VD2 на R3 и, при её величине более +3...4 В, открывает VT1. Если Упост –3...4 В, VT2, VT3 запираются через R4, R5. Контакты K1.1, K1.2 отключают АС от выхода усилителя. Данная схема, благодаря VD1, VD2, срабатывает и при равных по модулю разнополярных потенциалах на выходах каналов. С отключением сети C6 разряжается быстрее конденсаторов фильтра БП и АС отключаются ранее наступления в усилителе переходных процессов.

.....НАЛАДКА УСИЛИТЕЛЯ.

Перед первым пуском УМЗЧ коллекторы и базы TR20, TR22, TR34, TR26, рис. 3, и VT1...VT8, рис. 4, от схемы надо отключить, а коллектор TR14 или TR16 соединить с выходом УМЗЧ – левым по схеме выводом FU1. При этом замыкаются петли ООС по переменному и постоянному току; ВЧ-генерация крайне маловероятна. Затем от внешнего БП с уставкой $I_{k.з.}=0,1\text{ А}$ подать Упит $\pm 15...20\text{ В}$, или понизить сетевое напряжение до $\sim 110...140\text{ В}$ и питать усилитель от собственного блока питания; режимы работы транзисторов УН зависят от эмиттерного тока TR6.1TR6.2, заданного Упит первого дифкаскада -7 В и R28. Измерить уровни постоянных напряжений в УН и на выходе. Допустимо их отклонение на $\pm 20\%$ от показанных на схеме. Затем следует проверить напряжение $U_{см}$ выходного каскада – $U_{кз}TR22$ – до 4 В.

Переместив движок VR6, рис. 3, вверх; VR6, рис. 4, вниз по схеме, уменьшить $U_{см}$. Снять напряжение питания, подключить выходной каскад. Подать на конденсаторы фильтра питания УМЗЧ Упит= $\pm 20...30\text{ В}$, $I_{k.з.}\leq 0,3\text{ А}$, контролируя вольтметром напряжение в точках "кт", рис. 3, или на эмиттерных резисторах R10...R13, рис. 4. Установить $I_{пок}=50...70\text{ мА}$, рис. 4; при повторении УМЗЧ, особенно при $R_n=4\text{ Ома}$, необходимо выбирать радиаторы с большой площадью и повышать общий $I_{пок}$ VT5...VT8 до 200 мА.

После проверки нужно испытать УМЗЧ под нагрузкой. Перевести ручку «ВЧ» – «Treble» в положение завала АЧХ. Пользуясь осциллографом, подобрать ёмкость C1 и C2 по отсутствию паразитной генерации и увеличить их ёмкость на 15%. Для лучшей настройки УМЗЧ можно использовать генератор меандра. Отсутствие выбросов контролировать осциллографом со щупом 10:1 на базе TR14, «общий» прибора подключать к анодному выводу C36. Выбросы устраняются повышением ёмкости Cнав или сопротивления R26. Снятая на выходе УМЗЧ переходная характеристика не отражает действительного положения вещей, т.к. всплески интегрируются Cн TR16TR18.

Затем убрать $I_{пок}$ до нуля, снять вспомогательное питание. Включить усилитель в сеть, после прогрева в течение 20...30 мин установить ток покоя 50...70 мА. Подключить нагрузку и источник сигнала, испытать УМЗЧ в течение 20 мин, проверить стабильность постоянного напряжения на его выходе и тока покоя VT5...VT8. Чтобы постоянная составляющая тока нагрузки и наводки переменного напряжения с выхода усилителя не искажали показаний вольтметра, нагрузку и источник сигнала отключить. При уменьшении $I_{пок}$ более чем на 30% – подобрать сопротивление резистора R3, увеличивая его сопротивление для повышения тока покоя, [2].

Измеритель нелинейных искажений С6-8 переходит из режима калибровки к измерению гармоник только при входном напряжении более 150 мВ_{апл}, в то время как режекторный фильтр из комплекта ГЗ-118 подавляет первую гармонику более чем на 60 дБ – в 1000 раз. Поэтому измерение к.н.и. при $U_{вых}=40\text{ В}_{апл}$ с помощью С6-8 и фильтра при точной настройке последнего провести невозможно.

Следует перестроить частоту генератора вверх от частоты режекции фильтра и добиться подавления первой гармоники на 20 дБ, что равносильно повышению разрешения С6-8 в 10 раз. Вместе с тем расстройка уменьшает неизбежное из-за неидеальности АЧХ режекции подавление второй гармоники. Измеренный таким образом к.н.и.+шум доработанного УМЗЧ составил 0,015 % при $f=20$ кГц, $R_{\text{вых.}}=10$ Вт, $R_n=3,6$ Ома и максимальном подъёме ВЧ. С ростом выходной мощности и/или уменьшением подъёма ВЧ к.н.и. снижается до 0,004...0,005 %. В тех же исходных условиях, но без режекторного фильтра и $R_{\text{вых.}}=0,5$ Вт к.н.и.+шум=0,036...0,040%. Осциллограммы продуктов искажений с выхода С6-8 характерны для «ступенек» и шумов. Если УМЗЧ нагружен на АС с $R_{\text{вх}}=8$ Ом, в реальности параметры будут лучше, т.к. с повышением частоты $R_{\text{вх}}$ АС растёт и «ступенька» уменьшается. $V_{\text{нар}} \approx 80$ В/мкс.

.....ДЕТАЛИ

Все вновь введённые резисторы – МЛТ-0,25, кроме VR6 – многооборотный СП5-2, СП5-3 или СП3-39НА, R7...R9 – МЛТ-0,5, R10...R13 – С5-16МВ-5Вт, С5-16МВ-2Вт; конденсаторы С1 и С2 – КД, КТ. Скб КТ940 – 10...15 пФ; Скб КТ9115А – 24 пФ при $U_{\text{кз}}=0$, попадают образцы с Скб=130 пФ. У КТ850, КТ851 может быть низок $h_{21э} - \leq 25$, а у КТ8101, КТ8102 – и $U_{\text{кзг}} - \leq 15$ В. Параметры импортных транзисторов выше и стабильнее. С применением вместо TR14, TR16 2SA988 и TR18 – 2SC1841 с $R_k=0,5$ Вт BF423 и BF422 с $R_k=0,83$ Вт, можно выбрать R46, R48 820 Ом. При этом ток TR16, TR18 увеличится с 4,7 до 7 мА, а $V_{\text{нар}}$ – с 80 до 110 В/мкс. Если R6=470 Ом, то VT1, VT2 могут быть типов BF422 – BF423, а при R6=1 к – и 2SC2240 – 2SA970; Скб у транзисторов обеих пар меньше в три раза, чем у КТ940 – КТ9115 и ёмкость С1, С2 может быть подобрана заново. Как VT3, VT4 можно применить BD139 – BD140 с $R_k=12$ Вт, $I_k=1,5$ А, $f_t=50$ МГц или 2SC2275 – 2SA985 с $R_k=25$ Вт, $I_k=1,5$ А, $f_t=180$ МГц; как VT5...VT8 – пары 2SC2581 – 2SA1106 с $R_k=100$ Вт, $I_k=10$ А, $f_t=20$ МГц, 2SC3182 – 2SA1265 с $R_k=100$ Вт, $I_k=10$ А, $f_t=30$ МГц или 2SC5200 – 2SA1943 с $R_k=150$ Вт, $I_k=15$ А, $f_t=25$ МГц.

Доработаны два усилителя. Слушатели отметили улучшение качества звучания доработанного усилителя по сравнению с оригиналом. Звук мягкий, при длительном прослушивании не утомляет, а пользоваться темброблоком в большинстве случаев стало излишне.

.....ЛИТЕРАТУРА.

1. Шкритек П. «Справочное руководство по звуковой схемотехнике». : Пер. с нем.-М.: Мир, 1991. Приложение А10, стр. 386